

**Patent number:** JP2002215236  
**Publication date:** 2002-07-31  
**Inventor:** MORI MASAYUKI  
**Applicant:** KOMATSU MFG CO LTD  
**Classification:**  
**- international:** *G01C21/12; G01S1/00; G01S5/14; G01S7/497; G01S17/02; G05D1/02; G01C21/10; G01S1/00; G01S5/14; G01S7/48; G01S17/00; G05D1/02; (IPC1-7): G05D1/02; G01S5/14*  
**- european:** G01C21/12; G01S1/00S1A1; G01S5/14B3; G01S7/497; G01S17/02C; G05D1/02E6D2; G05D1/02E14B; G05D1/02E16B  
**Application number:** JP20010012722 20010122  
**Priority number(s):** JP20010012722 20010122

US6751535 (B2)  
US2002099481 (A1)

無人車両の航法装置の構成

12b, 12a, 3, 11, 18, 17, 16, 19, 21, 14, 22, 23, 15

GPS受信機

ジャイロ

速度センサ

自航航法演算部

レーザ距離計

絶対距離計測部

位置計測部

位置取得部

走行制御部

アクチュエータ

安全管理部

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-215236

(P2002-215236A)

(43) 公開日 平成14年7月31日 (2002.7.31)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト* (参考)
G 0 5 D 1/02		G 0 5 D 1/02	J 5 H 3 0 1
G 0 1 S 5/14		G 0 1 S 5/14	5 J 0 6 2

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2001-12722(P2001-12722)

(22) 出願日 平成13年1月22日 (2001.1.22)

(71) 出願人 000001236

株式会社小松製作所

東京都港区赤坂二丁目3番6号

(72) 発明者 森 眞幸

神奈川県川崎市川崎区中瀬3-20-1 株

式会社小松製作所システム開発センタ内

Fターム(参考) 5H301 AA03 AA10 DD02 EE08 GG07

GG08 GG10 GG12 GG17 HH01

5J062 AA05 BB01 CC07 DD12 DD24

DD25 EE04 FF04

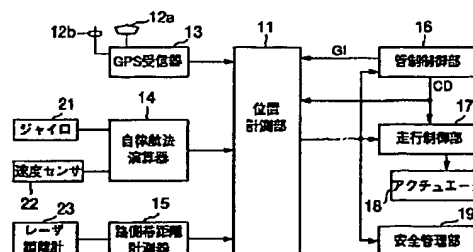
(54) 【発明の名称】 無人車両の走行制御装置

(57) 【要約】

【課題】 GPS 航法又は自律航法の測位精度の劣化や測位不能を招いても、走行誘導精度を高く維持できる無人車両の走行制御装置を提供する。

【解決手段】 GPS 信号を受信して車両位置を測位するGPS受信器(13)と、車両の走行方向及び距離に基づいて車両位置及び方位を測位する自律航法演算器(14)と、GPS受信器(13)及び自律航法演算器(14)のそれぞれの測位結果に基づき現在位置及び方位を演算する位置計測部(11)と、予め設定された走行経路(4)と演算された現在位置及び方位との比較結果に基づき車両走行を制御する走行制御部(17)とを備えた無人車両の走行制御装置において、車両から走行経路(4)の脇に設けた路側帯(5)までの距離を計測する路側帯距離計測器(15)を設け、前記位置計測部(11)は、路側帯距離計測器(15)により計測した路側帯距離に基づき、GPS受信器(13)の測位位置、及び／又は、自律航法演算器(14)の測位位置と方位との少なくとも一方を補正して現在位置と方位を求める。

無人車両の制御装置の構成



#### 【特許請求の範囲】

【請求項1】 GPS信号を受信して車両の絶対座標位置を測位するGPS受信器(13)と、車両の走行方向及び走行距離を計測し、この計測結果に基づいて車両の特定位置からの相対座標位置及び方位を測位する自律航法演算器(14)と、GPS受信器(13)及び自律航法演算器(14)のそれぞれの測位結果に基づき車両の現在位置及び方位を演算する位置計測部(11)と、予め設定された走行経路(4)の位置及び方位と位置計測部(11)により演算された現在位置及び方位とをそれぞれ比較し、それぞれの偏差値を小さくするように車両走行を制御する走行制御部(17)とを備えた無人車両の走行制御装置において、車両から走行経路(4)の脇に設けた路側帯(5)までの距離を計測する路側帯距離計測器(15)を設け、前記位置計測部(11)は、路側帯距離計測器(15)により計測した路側帯距離に基づき、前記GPS受信器(13)の測位位置、及び／又は、自律航法演算器(14)の測位位置と方位との少なくとも一方を補正して現在位置と方位を求めることを特徴とする無人車両の走行制御装置。

【請求項2】 請求項1記載の無人車両の走行制御装置において、

前記位置計測部(11)は路側帯距離の計測値から路側帯(5)の安定性を判断し、安定性が良好なときに前記路側帯距離に基づく補正を行うことを特徴とする無人車両の走行制御装置。

【請求項3】 請求項1又は2記載の無人車両の走行制御装置において、

前記位置計測部(11)の路側帯距離に基づく補正は、GPS受信器(13)の測位精度推測値及び／又は自律航法演算器(14)の測位精度推測値と、路側帯距離計測器(15)の測位精度推測値とに応じたセンサーフュージョンにより行うことを特徴とする無人車両の走行制御装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、鉱山、採石場等で予め設定された走行経路を自動走行する無人車両の走行制御装置に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】従来、予め設定された走行経路を自動走行する無人車両の走行システムとしては、GPS受信器により無人車両の絶対位置をする衛星測位航法（以後、GPS航法と言う）と、無人車両の走行方向及び走行距離を検出して前記絶対位置を基準とした相対位置及び方位を内界センサにより推定演算する自律的な航法とを併用し、両者の相互補完により位置計測精度を向上して走行するようにしたものが良く知られている。前記自律的な航法には、推測航法（速度センサや移動距離センサを用いて走行距離を求め、かつジャイロや地磁気センサを用いて方位を推定することで車両の位置と方位を推定する航法）や、慣性航法（ジャイロと加速度センサを用い

て車両の位置と方位を推定する航法）等が良く知られている。以後、これらを総称して自律航法と呼ぶ。

【0003】図12は、無人車両の走行システムを説明する図である。同図において、固定基地局1は無人車両10の管制を制御するものであり、管制通信アンテナ2bを介して走行経路データや車両管制制御指令を無人車両10に送信したり、車両状態信号を受信するようにしている。

【0004】また、無人車両10は、位置計測部及び走行制御部を有している。位置計測部により、GPSアンテナ12aを介してGPS受信器により受信した複数の衛星3a、～3eからの位置情報に基づいて車両自身の現在位置の絶対座標値を求める（GPS航法）。このとき、前記位置計測部はGPSによる前記絶対座標位置からの相対位置及び方位を走行方向と走行距離に基づいて求め、順次現在位置及び方位を推定演算している（自律航法）。そして、所定のGPS測位サンプリング時間走行した後に、新たに計測したGPSによる絶対位置に基づいて前記相対位置及び方位による現在位置及び方位を補正する。そして、走行制御部により、予め設定されている走行経路の位置及び方位（走行方向）と前記現在位置及び方位との比較結果に基づいて走行方向を演算すると共に、該走行方向に所定速度で走行するように操舵及び車速を制御する。以上の処理を繰り返して、無人車両を走行経路に沿って誘導走行するようにしている。

【0005】上記のようなGPS航法は、測位開始したタイミングからの計算時間及びGPS受信機から最終的な位置計測部までの通信遅れ、測位データを出力するタイミング時間間隔が、自律航法での位置演算時間よりも遅いという欠点がある。また、衛星3a、～3eの受信環境、即ち、無人車両の上空が周囲の岩壁、森林、構造物等のために正常にGPS受信可能な状態であるかという上空視界性、衛星配置、及び周囲の反射物から反射された電波を受信した時のマルチパス等の受信環境要因により、またDGPS（いわゆる、ディファレンシャル方式GPS）の場合には固定基地局1からの補正情報通信が山、岸壁、森林、構造物、電波環境などの様々な要因により遅れることにより、その測位精度が劣化したり、測位不能になる場合があるという問題も知られている。

【0006】一方、自律航法は、その欠点を補完するために用いられ、例えば速度センサと方位センサとの計測値に基づき所定時間毎に短時間で走行距離を演算して相対位置を算出しているので、リアルタイムに測位できる。ところが、速度センサや方位センサ等のセンサ誤差が累積し、測位精度の劣化の問題があるために、上記GPS航法により所定時間毎に補正して、位置精度の維持を図っている。

##### 【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の無人車両の走行システムにおいては、次のような問

題がある。

(1) GPS航法では、前述のように衛星受信環境の悪化や、DGPSの場合には基地局からの補正データの受信環境の悪化等により測位精度が劣化したり、測位不能となる場合がある。この場合には、GPS航法による絶対位置と自律航法による相対位置及び方位とに基づいて求める現在位置及び現在方位の精度が劣化したり、あるいは自律航法のみで走行すると計測誤差の累積により現在位置及び現在方位の精度が劣化する。このため、無人車両の誘導精度が低下するから、車両管制に支障を来す。

(2) 自律航法に係わる速度センサや方位センサ等が故障した場合、GPS航法のみにより走行すると、前述のようにGPS航法による測位データ出力時間間隔が遅いので、計測する絶対座標位置の間隔が長過ぎてこの間の走行誘導精度が低下する。また、GPS航法のみでは低速時に速度精度や方位精度が劣化すること、及び旋回時にGPSアンテナ軌跡（GPSによる方位に相当する）が車両の姿勢方向とは異なることによる測位（位置及び方位）精度が劣化することなどが影響し、走行誘導精度が低下する。また、このときGPS航法の受信環境や通信環境の悪化による測位（位置及び方位）精度の低下が生じると、さらに走行誘導精度が低下する。このため、自律航法不可となる故障の場合には車両管制に支障を来し、無人車両の稼働率が低下する。しかしながら、上記の場合でも確実に誘導走行できるような信頼性の高い走行システムが強く要望されている。

【0008】本発明は、上記の問題点に着目してなされたものであり、GPS航法又は自律航法の測位精度の劣化や測位不能状態を招いた場合でも、走行誘導精度を高く維持できる無人車両の走行制御装置を提供することを目的としている。

【0009】

【課題を解決するための手段、作用及び効果】上記の目的を達成するために、第1発明は、GPS信号を受信して車両の絶対座標位置を測位するGPS受信器と、車両の走行方向及び走行距離を計測し、この計測結果に基づいて車両の特定位置からの相対座標位置及び方位を測位する自律航法演算器と、GPS受信器及び自律航法演算器のそれぞれの測位結果に基づき車両の現在位置及び方位を演算する位置計測部と、予め設定された走行経路の位置及び方位と位置計測部により演算された現在位置及び方位とをそれぞれ比較し、それぞれの偏差値を小さくするように車両走行を制御する走行制御部とを備えた無人車両の走行制御装置において、車両から走行経路の脇に設けた路側帯までの距離を計測する路側帯距離計測器を設け、前記位置計測部は、路側帯距離計測器により計測した路側帯距離に基づき、前記GPS受信器の測位位置、及び／又は、自律航法演算器の測位位置と方位との少なくとも一方を補正して現在位置と方位を求める構成としている。

【0010】第1発明によると、路側帯（路肩、看板、反射板等により構成される）までの距離の計測値に基づき、GPS航法による測位位置、及び／又は、自律航法による測位位置と方位との内少なくともいずれか一方を補正して現在位置と方位を算出するので、GPS測位誤差や、自律航法の測位誤差による位置と方位の計測精度の低下を低減して、より信頼性の高い車両位置と方位を測位できる。また、GPS航法又は自律航法の測位が不能となったり、測位データの異常が認められた場合でも、正常な方のGPS航法又は自律航法による測位（位置と方位）データと路側帯距離の計測値とに基づき信頼性のある現在位置と方位を求めることができるので、誘導走行を継続でき、無人車両の稼働率を高めることができる。この結果、信頼性の高い無人車両の走行システムを構成できる。

【0011】第2発明は、第1発明に基づき、前記位置計測部は路側帯距離の計測値から路側帯の安定性を判断し、安定性が良好なときに前記路側帯距離に基づく補正を行うようにしている。

【0012】第2発明によると、路側帯が不安定である、即ち予め設定されていないエリアで不連続に途切れていたり、又は予め設定された変化率よりも大きく変化したりするようなエリアには何か異常が発生したと判断され、このような異常の有るエリアで計測した路側帯距離は異常データとみなされる。ここで、路側帯の地形情報として、予め、路肩の設置範囲及び走行経路に対する路側帯距離変化率、看板や反射板の設置座標及び形状等を設定しておく。従って、路側帯が安定であるときに、路側帯距離に基づき補正を行うようにしている。これにより、路側帯が不安定な場合に前記補正によって測位（位置と方位）精度が低下するのを防止し、自動走行を継続でき、無人車両の稼働率を高めることができる。

【0013】第3発明は、第1又は第2発明に基づき、前記位置計測部の路側帯距離に基づく補正は、GPS受信器の測位精度推測値及び／又は自律航法演算器の測位精度推測値と、路側帯距離計測器の測位精度推測値とに応じたセンサーフュージョンにより行うようにしている。

【0014】第3発明によると、GPS受信器、自律航法演算器、路側帯距離計測器のそれぞれの測位精度推測値に応じたセンサーフュージョンにより補正位置と補正方位を演算しているので、より信頼性の高い位置を求めることができる。尚、前記測位精度推測値は、GPS受信器、自律航法演算器、路側帯距離計測器のそれぞれの測位した結果及び認識している各センサ情報や、経験的な判断から推測したものであり、リアルタイムで推測してもよいし、又は予め所定値に設定しても構わない。

【0015】

【発明の実施の形態】以下に、図面を参照して本発明の実施形態について詳細に説明する。

【0016】本発明に係る無人車両の走行システムの基本構成は図12と同じものとする。ここで、固定基地局1の位置（絶対座標）は予め正確に計測されている。固定基地局1は、GPSアンテナ2aを介してGPS受信器により受信した複数の衛星3a、～3eからの位置情報に基づいてGPSによる絶対座標値を演算し、この演算した絶対座標値と予め正確に測量して記憶した基地座標値との比較により各演算時点でのGPSによる測位誤差パラメータ（各受信器の共通誤差を表すパラメータであり、例えば、複数の衛星3a、～3eからの距離情報受信時の受信器内時計の時間遅れデータや、時刻情報データや、衛星軌道誤差データ等からなる）を求める。そして、求めたGPSの測位誤差パラメータを補正データとして管制通信アンテナ2bを介して無人車両10に送信する。

【0017】図1により、本発明に係る無人車両側の制御装置構成を説明する。GPS受信器13はGPSアンテナ12aを介して複数のGPS衛星から位置情報を受信し、車両の絶対位置、方位及び速度（この場合は、GPSアンテナ12aの移動方向を表すGPS姿勢角、及び移動速度を表すGPS速度である）を計測する。このとき、固定基地局1から管制通信アンテナ12bを介して受信した前記補正データに基づき、車両自身で測位した絶対座標値、方位及び速度を補正する（いわゆる、ディファレンシャル方式GPSである）。また、GPS受信器13は自身の故障診断機能を有しており、例えば、GPS通信情報に含まれる、つまりGPS衛星で検出した通信異常信号の解析、及びGPS受信器13側での受信データ異常検出などが行われる。

【0018】自律航法演算器14は、基点となる位置からの相対的な移動位置を測位するものであり、自律航法による相対位置及び方位（この場合は走行方向）を演算している。本実施形態では推測航法による例で示し、無人車両の走行方向を計測するジャイロ21と、走行速度を計測する速度センサ22とを有しており、計測した走行方向と、走行速度から演算される走行距離とにより相対位置及び方位を求めている。慣性航法による場合には、一般的な構成と同様に、重力方向に対して常に平衡状態を保持するジャイロによるプラットフォームを設け、このプラットフォームに加速度センサを備えており、加速度信号を積分して速度信号を求め、さらに速度信号を算出して移動距離を求め、ジャイロにより走行方向を検出し、これらの各データから推測航法と同様の相対位置及び方位を求めるようにしている。以後の説明は推測航法について説明しているが、慣性航法についても同様に構成できる。尚、速度センサ22は、例えば車輪の回転数を検出する回転センサで構成され、4輪の内の少なくとも一個所に（例えば左右前輪と後輪の3個所に）設けている。また、自律航法演算器14は自身の故障診断機能を有しており、ジャイロ21からの入力データ異常や故

障信号の解析、速度センサ22からの入力データ異常（例えば、検出信号の変化異常や、左右前輪及び1個の後輪にそれぞれ速度センサ22を設けた場合の各速度センサ22からの信号同士の比較）や断線検出信号の解析などにより故障診断を行っている。

【0019】路側帯距離計測器15は、無人車両10から走行経路の路側帯（土手、又は路側帯を表す壁や反射板等）までの距離を非接触で計測するものであり、例えばレーザ距離計23や超音波距離計等を有している。路側帯距離計測器15は自身の故障診断機能を有しており、例えば、計測信号の変化異常の解析を行う。

【0020】位置計測部11は、それぞれの測位モジュール（即ち、GPS受信器13、自律航法演算器14及び路側帯距離計測器15）の測位データ（位置及び方位であり、以後特に断らない限り同様とする）に基づいて、各測位データの信頼性に応じた重みを考慮して加算平均し、より信頼性の高い正確な無人車両の位置及び方位を演算する。以後、このような重みを考慮して加算平均により測位することをセンサーフュージョンという。即ち、それぞれの測位モジュール13、14、15からの故障診断結果信号に基づき、又はそれぞれの測位モジュール13、14、15の測位データ間の乖離（データ矛盾やデータ異常）をチェックし、異常の無い時は、各測位データの信頼性つまり測位精度推測値（以後、単に測位精度と言う）の大きさに応じたセンサーフュージョンにより測位し、いずれかの測位モジュールに異常がある時は、異常モジュールの測位データを除外して他の測位データ同士をその測位精度（信頼性）に応じたセンサーフュージョンにより補完し合い、より正確な無人車両の位置及び方位を求めるようにしている。尚、それぞれの測位モジュール13、14、15の測位精度は、測位した結果及び認識している各センサ情報や、経験的な判断から推測されるものであり、その推測値は実処理時にリアルタイムで推定演算してもよいし、又は予め所定値に設定してあっても構わない。

【0021】尚、上記データ異常の検出方法としては、例えば、管制制御部16から走行経路に沿った地形情報を入力し、この入力した地形情報と路側帯距離計測器15からの測位データとの差値情報に基づきデータ異常判定を行う。そして、前記求めた正確な測位データに基づき無人車両を走行させるために、この測位データをそれぞれ管制制御部16、走行制御部17及び安全管理部19に出力する。

【0022】管制制御部16は、予め走行経路データCD及び地形情報GIを記憶しておき、自動走行時にはこの記憶している走行経路データCDを走行制御部17と位置計測部11とに、また地形情報GIを位置計測部11に出力している。地形情報GIは、走行経路に沿って設置された路側帯に関する情報であり、詳細は後程説明する。尚、走行経路データCDは、車両を実際にマニユ

アル走行して教示するティーチングにより作成してもよいし、予め走行経路の測量データに基づいてオフラインにて作成したものを固定基地局1から管制通信アンテナ12bを介して受信するようにしてもよい。また、上記ティーチングで作成された走行経路データCDを路側帯との距離に応じて、即ち路側帯距離と関連づけて編集、修正したものであってもよい。またティーチングはGPSの条件が良好な時に行われ、実際に走行経路に沿って走行した時のGPSによる位置、方位（走行方向）及び車速の各データを所定時間毎に記憶する。このとき、位置及び方位データとしては、GPSによる位置及び方位と自律航法による位置及び方位とをそれぞれの測位データの信頼性に応じて、つまりGPS通信信号の途切れ時間やGPS測位誤差、及び自律航法の計測誤差等の大きさに応じてセンサーフュージョンにより推定した位置及び方位を用いた方が好ましい。

【0023】走行制御部17は、走行経路データに従って無人車両が走行するように操舵、速度を制御するための各種のアクチュエータ18を制御する。尚、アクチュエータ18には、例えば、操舵を行うステアリングシリンダを制御するステアリング制御弁、ブレーキやリタダを制御するブレーキ制御弁、エンジンの回転数制御レバーの揺動角を制御するモータ等がある。走行制御部17は走行経路上の目標位置及び目標方位と位置計測部11から入力した現在位置及び方位とのそれぞれの偏差が小さくなるように走行方向及び走行距離を算出し、算出した走行方向及び走行距離に基づいて前記アクチュエータ18に各制御指令を出力し、無人車両の自動走行を制御する。

【0024】安全管理部19は、位置計測部11からの現在位置データに基づいて無人車両前方の走行コース上の障害物（人や車の侵入、落石等）を検出する機能を有し、障害物を検出した場合には無人車両を安全に停止させたり、障害物を回避して走行させたりする。また、位置計測系や制御系がなんらかの予期せぬ（つまり自身では検出不可能な）異常を来した場合には、コース上にあるはずの無い路側帯や対向車両等を障害物として検出して車両を緊急停止させる。

【0025】次に、上記の地形情報について、詳細に説明する。路側帯距離計測器15により計測した路側帯と走行中の無人車両との距離に基づいて無人車両の現在位置を推定し、この推定した位置データと他のGPS受信器13又は自律航法演算器14による測位データとのセンサーフュージョンを行って正確な現在位置及び方位を得るためには、走行経路の各走行位置に対応した走行経路から路側帯までの正確な距離情報が必要となる。前記地形情報GIとは、この正確な距離情報を得るための路側帯情報である。地形情報GIは、走行経路の幅、経路脇の土手の有無や連続性を表す地形情報、上空視界性が悪くて路側帯距離でのセンサーフュージョンが必要な走

行エリアの走行方向距離等の条件によって、それぞれ構成されるデータ内容が異なる以下のような種々のデータ設定方式が考えられる。

#### 【0026】・地形情報GIの設定方式

（1）走行路幅が均一で、走行路脇の土手の整備が行き届いている場合

図2に示すように、走行経路4（路幅の略中央線）と路側帯5との距離が一定であるから、無人車両10と路側帯5との距離Lの基準値L0を予め設定しておく。この基準距離L0と路側帯距離計測器15による計測値との差値により、現在位置を推定する。

【0027】（2）走行路幅が不均一で、土手の整備が行き届いているが、走行経路と土手との距離が不均一な場合（基準距離L0一定では成立しない場合）

図3に示すように、走行経路4と路側帯5との距離が走行経路4に応じて変化するので、走行経路4に応じて基準距離L0を逐次演算する必要がある。また、この場合には、走行経路4に対する土手の傾き（路側帯距離の変化率）も地形情報GIとして記憶している。地形情報GIは、例えば次のようないくつかの設定方法がある。

2-1) 無人車両10側で、精密に測量した土手の座標データを走行経路4に応じて記憶する方法この記憶した土手座標と走行経路4との距離により基準距離L0を逐次求め、求めた基準距離L0と実測距離データLとの差値により現在位置を推定する。また、前記土手座標と走行経路4間の距離に基づき、走行経路4に対する土手の傾き（路側帯距離の変化率）が算出される。尚、土手座標と自車位置と走行経路4とを比較して、座標が重なったり、接近し過ぎたり、座標データの乖離（矛盾）等の異常が無いかを検出することも可能である。

2-2) 基地局にある車両管制システム側で、精密に測量した土手座標データと走行経路4との距離を演算しておき、走行経路4に応じて無人車両10が車両管制システム側から受信する方法この方式は、無人車両10側の演算処理時間が速くなる利点がある。

2-3) 走行経路4のティーチングの時に走行経路4に応じて土手までの距離Lを計測し、これらの走行経路4のティーチングデータと上記計測した路側帯距離Lとを共に車両管制システム側で記憶し、自動走行時、走行経路4に応じて路側帯距離Lを受信する方法

【0028】（3）整備された土手が無いエリアが続く場合

走行路脇に一定間隔で反射ボールや看板等の所定の反射物を設置し、地形情報GIとして、反射物設置位置座標、又は該反射物と走行経路4との距離などが記憶される。自動走行時には、記憶した反射物設置座標と走行経路4の座標とから無人車両10と路側帯5（反射物）との基準距離L0を算出し、又は記憶した反射物と走行経路4との距離から前記基準距離L0を算出し、この基準距離L0に基づき無人車両10の現在位置を推定する。

尚、反射物設置座標は測量して求めてもよいし、ティーチング走行時に同時に反射物位置を検出して記憶してもよい。また、反射物と走行経路4との距離も同様に測量結果から算出してもよいし、ティーチング時に同時に検出して記憶してもよい。

【0029】(4)整備された土手があっても、車両走行方向の位置補正が必要になる場合

この場合、反射物が一定間隔で設置されたり、走行方向位置補正が必要なポイント(旋回点等)に反射物が設置される。これらの反射物の座標は予め正確に測量され、地形情報G1として記憶される。

【0030】次に、位置計測部11のセンサーフュージョン機能について詳細に説明する。

(GPSと自律航法とのセンサーフュージョン) GPS受信器13及び自律航法演算器14が共に故障が無く、かつ各測位データの異常が無い場合には、両者の測位データのセンサーフュージョンにより現在位置及び方位が算出される。即ち、図4に示すように、走行中は、所定時間毎にGPS受信器13により測位されたGPS絶対座標及び方位と、このときの固定基地局1からの前記補正データとを参照してGPSによる測位データ(位置及び方位)が求められ、このGPSによる測位データの計測精度とこれまでの自律航法による測位データの計測精度とを比較し、各測位データの精度(信頼性)に応じた重み(例えば0.8と0.2)をそれぞれ掛けて平均値を求め、これを補正された現在位置とし、この現在位置の補正量に基づき方位を補正する。尚、自律航法による方位データの計測精度が高い場合には、GPSによる測位データの内、位置データのみを用いてセンサーフュージョンを行なってもよい。走行制御部は、この補正された現在位置と走行経路4上の目標位置との偏差(距離) $\alpha$ 、及び車両の実姿勢角(つまり走行方向)と走行経路4の目標姿勢角との偏差をそれぞれ小さくする方向に操舵量を決定し、無人車両10を走行させ、この間自律航法演算器14での推測航法により前記補正現在位置及び方位を基準とした相対位置から現在位置及び方位を推定演算する。以上のGPS航法と自律航法とのセンサーフュージョンを繰り返す。

【0031】(GPSと自律航法とのセンサーフュージョンの異常検出) GPS受信器13及び自律航法演算器14は正常であるが、測位データ間に異常(乖離)が発見された場合には、GPS受信器13、自律航法演算器14及び路側帯距離計測器15の各測位データ同士のセンサーフュージョンにより現在位置及び方位を推定する。即ち、GPS及び自律航法による各測位データのセンサーフュージョンにより求めた現在位置を、さらに路側帯距離による位置データとのセンサーフュージョンにより補正してより信頼性の高い現在位置を求め、この現在位置の補正量に基づきGPS航法及び自律航法による方位を補正してより信頼性の高い方位を求める。ここで

上記のデータ異常検出方法としては、例えば、図5に示すように正常な路側帯距離計測器15により計測した路側帯距離Lの実測値と前記地形情報G1により設定された又は求められた基準距離L0との差値が所定値を越えた(即ち極端に小さくなり過ぎた、又は大きくなり過ぎた)ときに異常と判断することができる。あるいは、異なる測位方法での前記各測位データ同士の差値が所定値以上となったとき、データ間に大きな乖離があつて異常とみなすこともできる。但し、基準距離L0及び路側帯実測距離のデータの安定性を判定し、確実にその連続性が認められ、かつ土手形状が安定して検出される、つまり連続性がある場合のみに、上記の異常検出の判定がなされるようにしている。また、当然のことながら、路側帯距離計測器15の故障が発生したときは、上述の路側帯実測距離と基準距離L0との差値の大きさによる異常診断や、路側帯距離によるセンサーフュージョンは行わないものとする。

【0032】(GPS異常時の路側帯計測と自律航法とのセンサーフュージョン) GPS受信器13の故障診断で異常が認められた場合、自律航法により走行するが、ジャイロ21と速度センサ22の累積誤差の影響により推定現在位置及び方位は徐々にズレを生じ、このずれた位置及び方位情報に基づき走行制御するので、図6に示すようにその実際の走行軌跡7はそのずれた分だけ目標の走行経路4から徐々に逸脱して行く。このとき、路側帯距離計測器15による路側帯距離Lの実測値と前記基準距離L0との差値に基づいて現在位置を推定し、この路側帯距離Lに基づく推定現在位置と前記自律航法による推定現在位置とのセンサーフュージョンにより位置補正を行ってより信頼性の高い現在位置を求め、この現在位置の補正量に基づき方位を補正する。通常の略直線的な又は緩やかなカーブの走行路で、路側帯5が土手や壁のようなものである場合には、上記で求めた現在位置に基づき、走行方向に対して横方向のみの位置補正を行う。この理由は、そのような場合、走行方向の位置誤差は横方向に比べて小さく、かつ横方向誤差の方が自動走行に関してはより重要であるのに対し、走行方向誤差は問題とならないことが多いからである。尚、計測した路側帯距離Lが所定値よりも小さ過ぎたり、大き過ぎたりした時には、走行経路4から極端に逸脱したと判断して上記補正を行う前に、緊急停止するようにしている。

【0033】(土手が無い場合、又は走行方向誤差が問題となる場合)

- a) 土手の無いエリアR(図7参照)が長い距離に及んで続く場合
- b) 交差点で曲がる場合、又は急旋回する場合
- c) ホップ、排土場や、積込場等の停止位置の近傍で、走行方向の位置精度が要求される場合

これらの場合には、図7に示すように、設置座標が予め正確に測量された、走行方向の位置補正用の反射ポール

や看板等の反射板 25 を路側帯 5 として設置する。この座標既知の反射板 25 までの距離を路側帯距離計測器 15 により計測し、この計測距離に基づき現在位置を精度良く推定して横方向位置と共に走行方向位置を正確に補正することが可能となる。尚、路側帯距離計測器 15 による計測値から現在位置を求めるには、当該反射板 25 の既知座標と、計測時の車両の走行方向と、この走行方向に対する路側帯距離計測器 15 からのレーザや超音波の発信方向とに基づいて求めることが可能である。従って、仮にこのような場所で GPS による測位が不能になったり異常となった時、又は自律航法に異常が認められた時には、路側帯距離計測器 15 による現在位置の測位データと、GPS による測位及び自律航法演算器 14 による測位のいずれか正常である方の現在位置の測位データとのセンサーフュージョンにより、走行方向位置精度も高くでき、信頼性の高い位置を計測できる。この結果、走行経路 4 に沿って確実に操向でき、交差点や急旋回点での旋回が正確に行え、また停止位置での停止精度を向上できる。

【0034】（自律航法異常時の路側帯計測と GPS での測位とのセンサーフュージョン）ジャイロ 21 や速度センサ 22 の故障等による自律航法演算器 14 の異常を認めた場合には、異常形態により以下のようにそれぞれ冗長系を形成している計測手段に切り換えるようにしている。

a) 装着している全速度センサが異常の場合

速度センサ 22 の代わりに、GPS 速度を使用する。GPS 速度データは、所定時間（例えば 0.5 秒）毎に GPS 受信器 13 から出力される。

b) ジャイロに関する異常がある場合

ジャイロ 21 の代わりに、GPS 姿勢角を使用する。GPS 姿勢角は、GPS 受信器 13 が出力する姿勢角、又は GPS アンテナ 12a の位置移動軌跡による姿勢角（ここでは移動方向）の推定値である。

【0035】上記の GPS 速度は、所定時間毎の移動距離に基づき算出しているので低速での精度が低いときがあり、またデータ出力時間間隔が GPS のサンプリング時間よりも小さくならない為、自律航法による速度の計測精度よりも劣化するときがある。また上記の GPS 姿勢角は GPS アンテナ位置の変化から算出されるので、車両直進時にはある程度の高い精度であるが、旋回時などには車両姿勢角（つまり走行方向）とは一致しないことから精度が劣化する等の欠点もある。従って、このような GPS 速度及び GPS 姿勢角による位置計測精度は自律航法よりも低下するので、この GPS データを用いた疑似的な自律航法により誘導走行すると、図 8 に示すように軌跡 7a がずれて行く。このとき、路側帯距離計測器 15 による路側帯 5（土手や、前述の反射板 25 等を含む）までの距離実測値 L に基づいて演算した現在位置と、上記 GPS 速度及び／又は GPS 姿勢角により計

測した現在位置とのずれ量から、この疑似的な自律航法による計測精度を推定し、推定した計測精度に基づき前記 GPS 速度及び／又は GPS 姿勢角による現在位置を補正する。そして、補正した現在位置と GPS 測位による現在位置とのセンサーフュージョンによって、より信頼性の高い現在位置を求め、さらにこの現在位置の補正量に基づき方位を補正する。尚、上記の補正を行う以前に、路側帯距離の実測値と基準距離 L0 との差が極端に大きくなり過ぎた時は目標の走行経路 4 を逸脱しているから、無人車両 10 を緊急停止させるようにする。

【0036】（土手安定判別について）上述のような、路側帯距離計測に基づいてセンサーフュージョンや異常検出を実施する場合に重要なことは、先ず第 1 に、計測対象が土手や壁の場合、均一性（なだらかに変化すること）及び連続性（途切れてないこと）等の安定性を評価し、必ず評価結果が良好な時（安定と判断した時）に上記路側帯距離計測による測位データを使用すると言う大前提上で成立することである。即ち、予め土手や壁が設置されているエリアで不連続に途切れていたり、又は予め設定された変化率よりも大きく変化したりするような、路側帯 5 が不安定であるエリアには何か異常が発生したと判断され、このような異常の有るエリアで計測した路側帯距離は異常データとみなされる。第 2 に、反射ポールの場合には反射ポールの反射強度が所定値以上であること、また看板（所定の形状をなすサイン看板等）の場合にはその形状、設置位置及び設置距離等により特徴化することにより、これらの反射板 25 の特徴検出を可能として、他の物との識別を明確に行うことが重要である。土手等の上記安定性の判別は、例えば路側帯距離の前回計測値からの変化量（差値）、変化率、又は複数の位置での計測距離から算出される土手の車両に対する相対向き（つまり土手の傾き）などのパラメータに基づき評価する。このとき、求めたパラメータが所定許容値（例えば、地形情報 GI に基づいて求められる路側帯距離変化率に対して許容値を予め設定する）以上の大きさである時は、土手等の変化が急激であり、不安定であると判断し、路側帯距離計測による測位データは使用しないようにしている。また、安定判別評価結果は路側帯距離計測の精度推測値を計算する判断材料としており、これによりセンサーフュージョンする際の重み付けに反映してもよい。尚、上記の方法に限定されず、予め安定エリアと不安定エリア又は土手の無いエリアとを測量して地形情報 GI として固定基地局 1 にある車両管制システム側で記憶しておき、無人車両 10 は車両管制システム側から通信でこの地形情報 GI を入力してもよいことは言うまでもない。

【0037】以上説明した位置計測部 11 のセンサーフュージョンの処理手順を、図 9 及び図 10 に示すフローチャートにより説明する。先ずステップ S1 で、GPS 受信器 13 から GPS 航法に関係する情報を入力し、故

障診断を行う。次にステップS 2で、自律航法演算器1 4から自律航法の情報を入力し、故障診断を行う。次にステップS 3で、路側帯距離計測器1 5から路側帯距離計測に関する情報を入力し、故障診断を行う。さらにステップS 4で、固定基地局1の車両管制システムから通信で走行経路データCD、地形情報G Iを入力し、故障診断を行う。

【0038】そしてステップS 5で、走行経路データCDが正常か否か、即ち走行経路データCDの通信が正常か、及び受信したデータが連続的かをチェックし、正常のときは、ステップS 7で地形情報G Iが正常か否か、即ち地形情報G Iの通信が正常か、及び受信したデータが正常か（例えば、土手の座標値の変化量、変化率が所定値以内か等）をチェックする。地形情報G Iが正常のときは、ステップS 8で路側帯距離計測に関する故障診断で正常かチェックし、正常なときは、さらにステップS 9で路側帯距離計測データに基づき求めた路側帯5の安定性は良好かを判別する。前記ステップS 7、ステップS 8で正常でないとき、及びステップS 9で安定性良好でないときには、ステップS 10で路側帯計測不可フラグをセットし、ステップS 11に移行する。尚、ステップS 5で走行経路データCDが正常でないときは、ステップS 6で走行制御部17に車両停止指令を出力して車両を停止させる。

【0039】ステップS 9で安定性が良好なときは、ステップS 11で自律航法の故障診断結果が正常かをチェックし、正常なときは次にステップS 12でGPS航法の故障診断結果が正常かをチェックし、正常なときはさらにステップS 13で路側帯計測不可フラグがセットされているかチェックする。この後、路側帯計測不可フラグがセットされていないときは、ステップS 14で自律航法、GPS航法及び路側帯距離計測によりそれぞれ現在位置を演算し、各現在位置同士の差値を求め、次にステップS 15でこの各差値が所定値以内かチェックし、所定値以内のときはステップS 16で各現在位置データ同士の乖離（相互矛盾）が無いと判断し、GPS航法、自律航法及び路側帯距離計測により求めたそれぞれの現在位置及び方位データに基づきセンサーフュージョンを行ない、補正現在位置及び方位を演算する。そして、この後、ステップS 18でこの補正現在位置及び方位を最終的な車両位置及び方位として決定し、そのデータを管制制御部16、走行制御部17、安全管理部19に出力する。管制制御部16、走行制御部17及び安全管理部19はこの補正現在位置と方位、目標位置及び目標走行姿勢に基づきそれぞれ所定の管制制御、走行制御、安全走行管理を行う。これ以降、ステップS 1に戻って処理を繰り返す。

【0040】ステップS 15で前記各差値が所定値以内でないときは、ステップS 17で前記各現在位置データ同士の乖離が有ると判断し、走行制御部17に車両停止

指令を出力して車両を停止させる。

【0041】前記ステップS 13で路側帯計測不可フラグがセットされているときは、ステップS 19で自律航法及びGPS航法によりそれぞれ現在位置及び方位を演算し、両現在位置同士の差値を求め、次にステップS 20でこの差値が所定値以内かチェックし、所定値以内のときはステップS 21で両現在位置データ同士の乖離が無いと判断し、GPS航法及び自律航法により求めたそれぞれの現在位置及び方位データに基づきセンサーフュージョンを行ない、補正現在位置及び方位を演算し、この後前記ステップS 18に移行する。またステップS 20で前記差値が所定値以内でないときは、前記ステップS 17に移行して車両を停止させる。

【0042】前記ステップS 12でGPS航法の故障診断結果が正常でないときは、ステップS 22で路側帯計測不可フラグがセットされているかチェックし、路側帯計測不可フラグがセットされていないときは、ステップS 23で自律航法及び路側帯距離計測によりそれぞれ現在位置を演算し、両現在位置同士の差値を求める。次にステップS 24でこの差値が所定値以内かチェックし、所定値以内のときはステップS 25で両現在位置データ同士の乖離が無いと判断し、自律航法及び路側帯距離計測により求めたそれぞれの現在位置及び方位データに基づきセンサーフュージョンを行ない、補正現在位置及び方位を演算する。この後、前記ステップS 18に移行する。また、ステップS 24で前記差値が所定値以内でないときは、前記ステップS 17に移行して車両を停止させる。

【0043】前記ステップS 22で路側帯計測不可フラグがセットされているときは、ステップS 26で自律航法により現在位置及び方位を推定演算し、ステップS 27でこの推定現在位置及び方位に基づき車両を減速させて停止させるように走行制御部17に指令を出力する。

【0044】前記ステップS 11で自律航法の故障診断結果が正常でないときは、ステップS 28でGPS航法の故障診断結果が正常かをチェックする。正常なときはステップS 29で、前記自律航法の走行速度と走行方向との冗長を切替える、即ち走行速度に関する全ての（複数センサがある場合）入力データ異常又は全ての速度センサ異常と診断したら、速度データとしてGPS速度を用い、走行方向に関する入力データ異常又は方位センサ異常と診断したら、走行方向データとしてGPS姿勢を用いて自律航法を行う。

【0045】そして、ステップS 30で路側帯計測不可フラグがセットされているかチェックし、路側帯計測不可フラグがセットされていないときは、ステップS 31で、速度センサ及び方位センサの内故障の無い方の計測データと、その故障した方の代用のGPS速度及び／又はGPS姿勢とに基づき自律航法により現在位置を演算すると共に、GPS航法及び路側帯距離計測によりそれ

ぞれ現在位置を演算し、各現在位置同士の差値を求める。次にステップS32でこの各差値が所定値以内かチェックし、所定値以内のときはステップS33でGPS航法、自律航法（前記代用のGPS速度及び／又はGPS姿勢に基づく）及び路側帯距離計測により求めたそれぞれの現在位置データに基づきセンサーフュージョンを行なって補正現在位置及び方位を演算し、前記ステップS18に移行する。上記ステップS32で前記各差値が所定値以内でないときは、前記ステップS17に移行する。

【0046】前記ステップS30で路側帯計測不可フラグがセットされているときは、ステップ34で車両減速停止指令を出力して車両の減速を開始させ、次にステップS35で、車両が停止するまでは、前記代用のGPS速度及び／又はGPS姿勢による代替自律航法を継続し、前記ステップ18に移行して所定の処理を行う。

【0047】前記ステップS28でGPS航法の故障診断結果が正常でないときは、ステップS36で路側帯計測不可フラグがセットされているかチェックし、路側帯計測不可フラグがセットされてないときは、ステップS37で車両減速停止指令を出力して車両を減速停止させる。また、車両が停止するまでの操舵誘導は、路側帯計測の計測値と地形情報GIデータとに基づき走行を制御するように指令を出力する。次にステップS38では、車両が停止するまで、自律航法データの走行距離及び走行方向の内の異常発生していない方のデータと、異常が認められた方のデータについて過去の正常時の車両速度及び／又は車両姿勢、車両軌跡、現在の操舵角度等から推測した車両速度及び／又は走行方向データとに基づく自律航法、及び路側帯距離計測による位置補正演算を実施する。仮に、自律航法データの走行距離及び走行方向の両方が異常である場合には、過去の正常時の車両速度と車両姿勢、車両軌跡、現在の操舵角度等から推測した車両速度及び走行方向データに基づく車両停止までの予測に基づいた自律航法と、路側帯距離計測とによる位置補正演算を実施する。

【0048】前記ステップS36で路側帯計測不可フラグがセットされているときは、ステップS39で急制動をかけて車両を緊急停止させる。次にステップ40で、車両が停止するまで、自律航法データの走行距離及び走行方向の内の異常発生していない方のデータと異常が認められた方のデータを過去の正常時の車両速度及び／又は車両姿勢、車両軌跡、現在の操舵角度等から推測することによってなされる自律航法を実施する。また、自律航法データの走行距離及び走行方向の両方が異常である場合には、その両方において過去の正常時の車両速度と車両姿勢、車両軌跡、現在の操舵角度等から車両停止までの予測に基づいた自律航法を実施する。

【0049】図11は、本発明に係る走行制御装置を用いて行った実機テスト結果を表す走行軌跡図である。同

図において、5aは走行経路4に沿って車両を走行させて土手までの距離を計測した時に安定判別結果が良好であったエリアの路側帯5を表し、5b（太線で示す）は安定判別結果がNGであったエリアの路側帯5を表している。このような路側帯5を設けた走行経路4に沿って自律航法のみで（GPS航法による測位が異常又は不能であると仮定している）走行した場合には、軌跡4aのようにずれて行くことが示されている。そして、このとき、路側帯安定判別結果が良好な時に路側帯距離計測と自律航法とのセンサーフュージョンにより現在位置を演算して走行した場合には、走行経路4から逸脱することなく図示のように走行することを確認した。このことから、路側帯距離計測とのセンサーフュージョンにより車両位置の測位精度を高めることができることが分かる。

【0050】以上説明したように、本発明によると以下の効果を奏する。

（1）路肩、看板、反射板25等により構成される路側帯5までの距離の計測値に基づき、GPS航法による測位位置（さらに必要ならば方位）、及び／又は、自律航法による測位位置と方位との少なくともいずれか一方をセンサーフュージョンにより補正して現在位置と方位を算出するので、GPS測位誤差や自律航法測位誤差による位置計測精度の低下を抑制して、より信頼性の高い車両位置を測位できる。

（2）また、固定基地局1からの補正データ等の遅れ時間増大などの通信環境の悪化や、上空視界性、衛星配置、マルチパス等の受信環境の悪化によって、GPS航法の測位不能や測位精度の劣化が発生したり、自律航法の測位が不能となったり、両航法のいずれかの測位データの異常が認められた場合には、正常な方のGPS航法又は自律航法による測位データと路側帯距離の計測値とに基づきセンサーフュージョンにより信頼性のある現在位置及び方位を算出することができる。従って、上記異常が発生しても確実に誘導走行を制御でき、無人車両の稼働率を高めることができる。この結果、信頼性の高い無人車両の走行システムを構成できる。

【0051】（3）路側帯5が不安定であるエリアで計測した路側帯距離は異常データとみなされ、路側帯5の安定性が認められた場合に路側帯距離計測による測位データを使用する。この路側帯距離の計測値に基づきセンサーフュージョンにより、GPS航法による測位位置（さらに必要ならば方位）、及び／又は自律航法による測位位置と方位との少なくともいずれか一方の補正を行うので、路側帯5が不安定な場合に前記補正を行うことによって生じる測位精度の低下を防止できる。また、路側帯5の安定性が認められた場合に、路側帯距離の計測値に基づき測位データ間の乖離（データ異常）が無いかをチェックするので、間違いのない判断ができる。この結果、路側帯5の不安定状況に左右されずに自動走行を継続でき、無人車両の稼働率を高めることができる。

【0052】(4) GPS受信器13、自律航法演算器14及び路側帯距離計測器15のそれぞれの測位精度に応じたセンサーフュージョンにより補正位置を演算しているため、より信頼性の高い位置及び方位を求めることができる。従って、確実に無人車両10の誘導走行を制御できる。

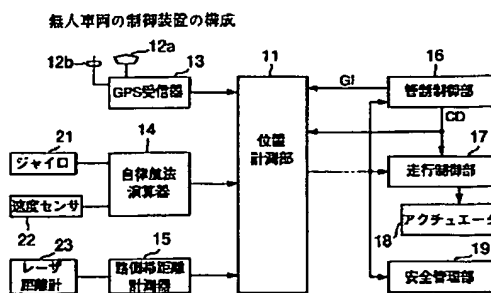
【0053】(5) 地形情報GIと路側帯距離とに基づいて車両位置及び方位を測位しているため、例えば一時的にGPS航法及び自律航法の測位が共に不能となったり、両測位データに異常が認められた場合でも、直ちに停止することなく減速するなどして路側帯距離計測のみにより自動誘導走行ができる。従って、無人車両の誘導停止の頻度を少なくし稼働率を高めるので、信頼性の高い走行システムを構成できる。(6) 地形情報GIは路側帯5の状態に応じて、一定値の路側帯距離(基準距離L0)、あるいは走行経路4に対応した路側帯5の座標位置又は路側帯距離等を記憶することにより、様々な地形条件の走行経路4の場合でも本走行制御装置は対応できるようになっており、汎用的な走行システムを構成できる。(7) 土手の無いエリアや、例えば急旋回位置や停止位置近傍等のように車両の走行方向位置が重要となるエリアでは、路側帯として反射板25を設置することにより、精度の高い測位ができ、より信頼性を向上できる。

【図面の簡単な説明】

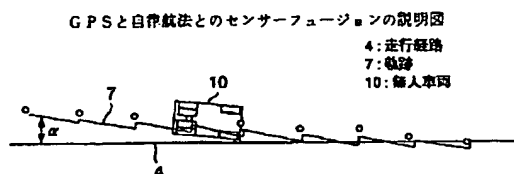
【図1】本発明の無人車両の制御装置の構成図である。

【図2】均一な路幅の走行路の説明図である。

【図1】



【図4】



GPSと自律航法とのセンサーフュージョンの説明図

4: 走行経路  
7: 軌跡  
10: 無人車両

【図3】走行経路と路側帯との距離が不均一な場合の走行路の説明図である。

【図4】GPSと自律航法とのセンサーフュージョンの説明図である。

【図5】路側帯距離計測値に基づく測位データ異常検出方法の説明図である。

【図6】路側帯計測と自律航法とのセンサーフュージョンの説明図である。

【図7】反射板を設置する場合の走行路の説明図である。

【図8】路側帯計測とGPSでの測位とのセンサーフュージョンの説明図である。

【図9】センサーフュージョンの処理手順を表すフローチャート(前半)例である。

【図10】センサーフュージョンの処理手順を表すフローチャート(後半)例である。

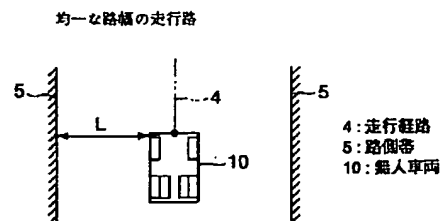
【図11】実機テスト結果を表す走行軌跡図である。

【図12】無人車両の走行システムの構成図である。

【符号の説明】

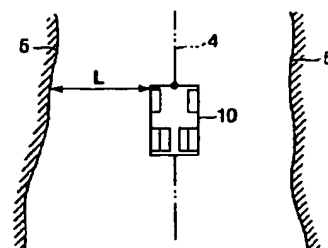
1…固定基地局、4…走行経路、5…路側帯、7, 7a…軌跡、10…無人車両、11…位置計測部、13…GPS受信器、14…自律航法演算器、15…路側帯距離計測器、16…管制制御部、17…走行制御部、18…アクチュエータ、19…安全管理部、21…ジャイロ、22…速度センサ、23…レーザ距離計、25…反射板。

【図2】



【図3】

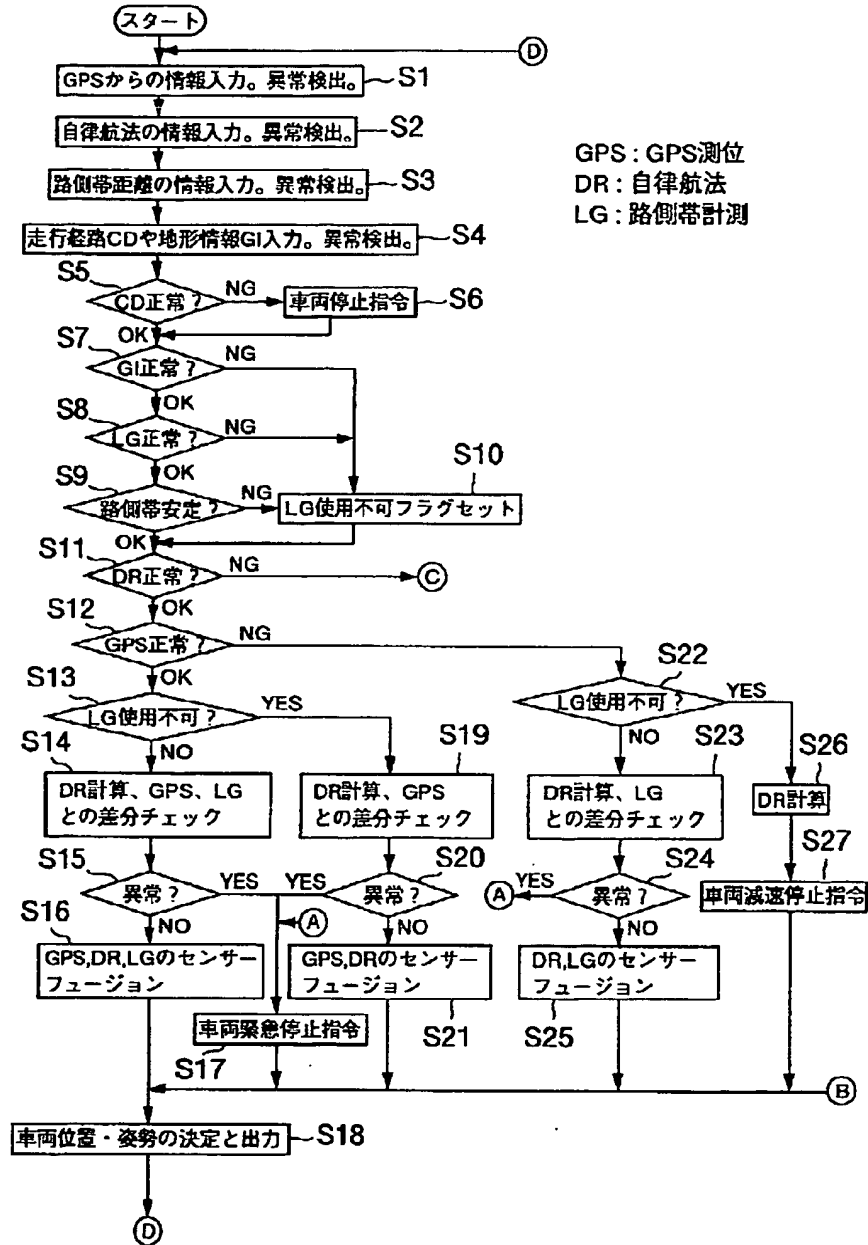
走行経路と路側帯との距離が不均一な場合の走行路



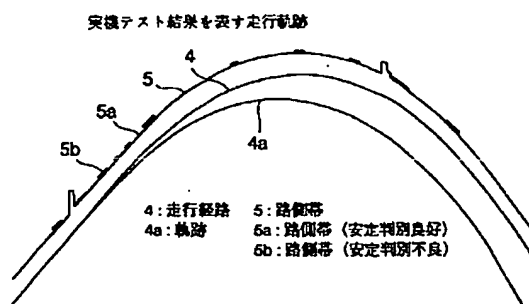


【図9】

センサーフュージョンの処理手順



【図11】



【図12】

